

DERWENT-ACC-NO: 2004-416917

DERWENT-WEEK: 200439

COPYRIGHT 2005 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Fabrication of low temperature superplastic AZ91 Mg
alloys using simple high-extrusion ratio extrusion

INVENTOR: HUANG, J; LIN, S

PATENT-ASSIGNEE: HUANG J[HUANI]

PRIORITY-DATA: 2001TW-0112725 (June 18, 2001)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
TW 536558 A	June 11, 2003	N/A	000	C22C 023/00

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
TW 536558A	N/A	2001TW-0112725	June 18, 2001

INT-CL (IPC): C22C023/00

ABSTRACTED-PUB-NO: TW 536558A

BASIC-ABSTRACT:

NOVELTY - To choose the most popular and low-priced commercial AZ91D ingot, and to apply the most simple and feasible one- or two-step extrusion method, resulting in superior low temperature superplasticity. One-step extrusion is undertaken using a high extrusion ratio above 100:1 (better above 150:1) at 250-350 deg. C. The two-step extrusion is conducted with an extrusion ratio of 20:1 to 50:1 for the first step at 250-350 deg. C, followed by a second-step extrusion with an extrusion ratio of 3:1 to 8:1 at 200-300 deg. C (approx. 50 deg. C below the first step).

CHOSEN-DRAWING: Dwg.1/1

TITLE-TERMS: FABRICATE LOW TEMPERATURE SUPERPLASTIC MG ALLOY SIMPLE
HIGH
EXTRUDE RATIO EXTRUDE

DERWENT-CLASS: M21 M26

CPI-CODES: M21-B02A; M26-B10;

中華民國專利公報 [19] [12]

[11]公告編號：536558

[44]中華民國 92 年 (2003) 06 月 11 日

發明

全 6 頁

[51] Int.Cl⁰⁷ : C22C23/00

[54]名稱：製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易高擠型比擠型法

[21]申請案號：090112725

[22]申請日期：中華民國 90 年 (2001) 06 月 18 日

[72]發明人：

林鉉凱

高雄市小港區桂華街四三八號

黃志青

高雄市鼓山區瑞豐街一六一巷五號

[71]申請人：

黃志青

高雄市鼓山區瑞豐街一六一巷五號

[74]代理人：

1

2

[57]申請專利範圍：

1. 一種以製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易單道高擠型比擠型法，其步驟如下，

(1) 鑄錠先經過固溶處理，乃把鑄錠置於氣氛爐中升溫至 400-430℃ 保持 1-3 個小時，之後再做水淬使其材料成分均勻，

(2) 單道擠型法之擠型溫度固定於單一溫度，於 250-350℃ 之間，單道擠型法採高擠型比，增加至 40：1 至 160：1 之間的程度，亦即擠型真實應變量提高至 3.7-5.1 (即 $\ln 40 - \ln 160$) 之間。

2. 一種以製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易雙道高擠型比擠型法，其步

驟如下，

(1) 鑄錠先經過固溶處理，乃把鑄錠置於氣氛爐中升溫至 400-430℃ 保持 1-3 個小時，之後再做水淬使其材料成分均勻，

5. (2) 雙道擠型法之擠型溫度有二，第一道擠型溫度固定於單一溫度，於 250-350℃ 之間；第二道擠型溫度也固定於單一溫度，於 200-300℃ 之間，需低於第一道擠型之溫度 50℃ \pm 20℃；第一道擠型比為 20：1 至 50：1 之間，視擠型機之功率大小與擠件之尺寸；第二道擠型比為 2：1 至 8：1 之間，使兩道擠型之累積總擠型比同樣達到 40：1 至 160：1 之

間的程度，亦即累積擠型真實應變量同樣提高至 3.7-5.1 之間。

圖式簡單說明：

圖一 為 AZ91 擠型材之顯微金相照片。

圖二 為 AZ91 擠型材之低溫高塑拉伸量於不同拉伸溫度與拉伸速率之變化圖：(a)擠型比 42：1；(b)擠型比 100：1；(c)擠型比 166：1。

圖三 為 AZ91 擠型材之經不同擠型比及單雙道擠型後之低溫高塑拉伸量比較圖：(a)250℃與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時；(b)300℃與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時之

比較。

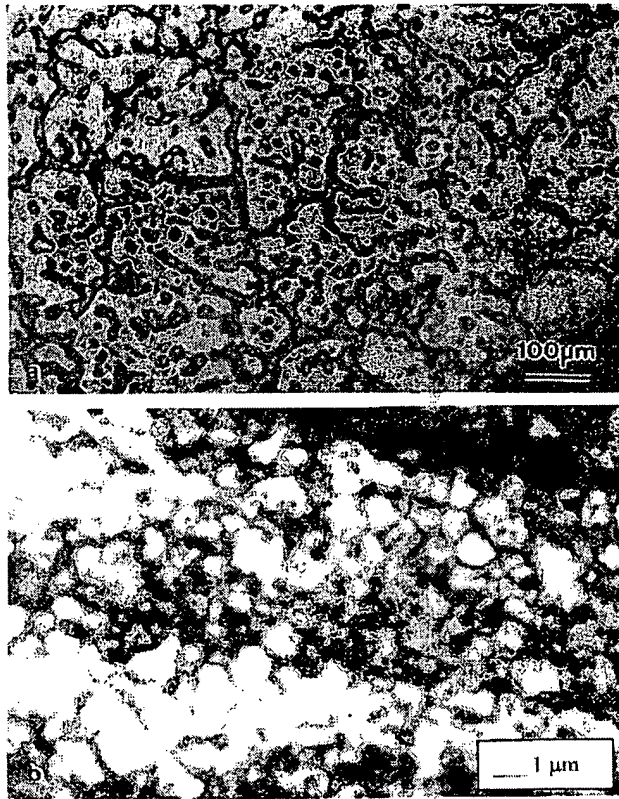
圖四 為 AZ91 鎂合金經 166：1 之擠型後在 300℃ 拉伸所得之典型低溫超塑試片(尚未斷裂)，與未拉伸之試片比較圖

5.

圖五 為 AZ91 鎂合金經不同擠型比之試片，在 250℃ 與 300℃ 及 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 下之最高強度比較圖

10.

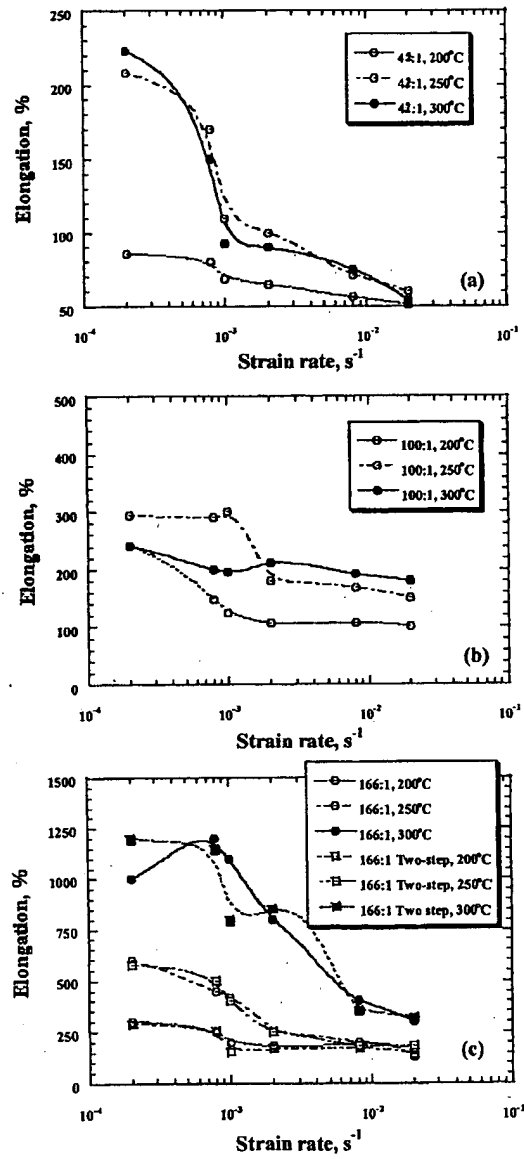
圖六 為 AZ91 鎂合金經 100：1 之擠型材試片，在 200、250、與 300℃ 時應力與應變速率之趨勢圖，其斜率為應變速率敏感 m 值



圖一

AZ91 擠型材之顯微金相照片。

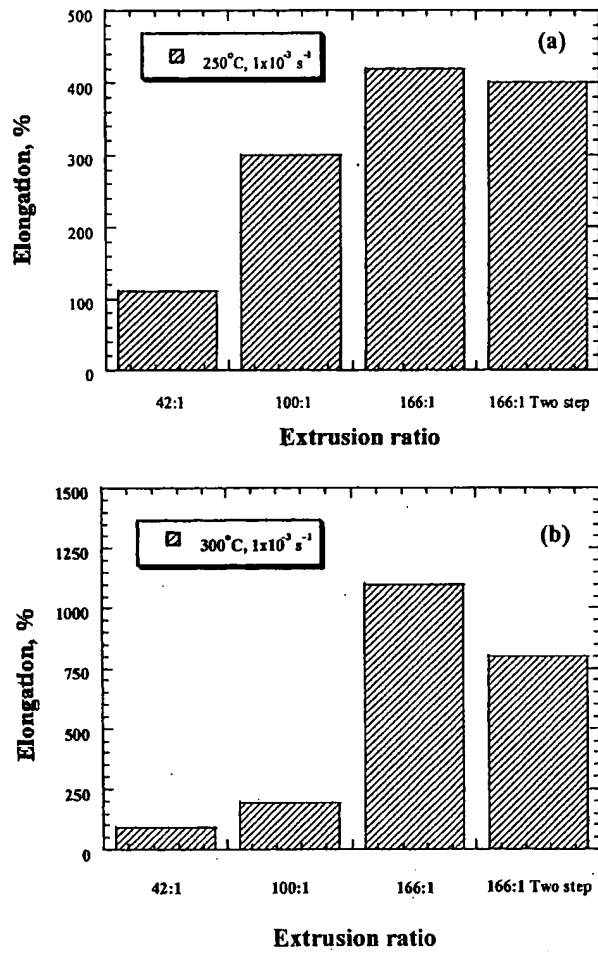
(3)



AZ91 擠型材之低溫高塑拉伸量於不同拉伸溫度與拉伸速率之變化圖：(a) 擠型比 42:1；(b) 擠型比 100:1；(c) 擠型比 166:1。

圖二

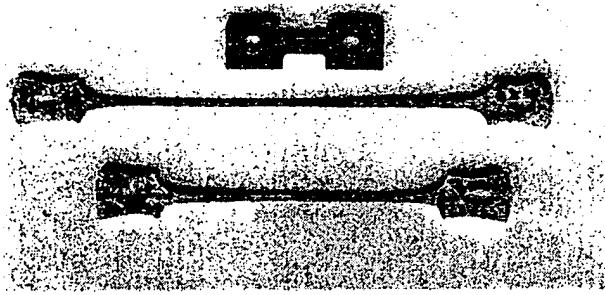
(4)



AZ91 擠型材之經不同擠型比及單雙道擠型後之低溫高塑拉伸量比較圖：(a) 250 °C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時；(b) 300 °C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時之比較。

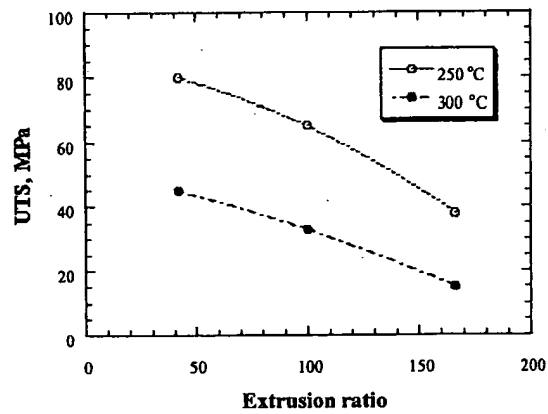
圖三

(5)



AZ91 鎂合金經 166:1 之擠型後在 300 °C 拉伸所得到之典型低溫超塑試片(尚未斷裂)，與未拉伸之試片比較圖

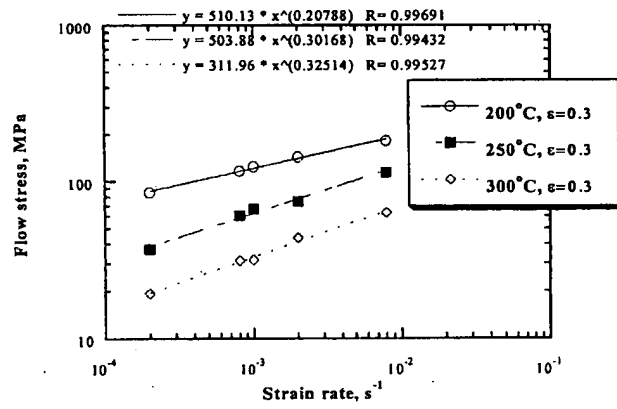
圖四



AZ91 鎂合金經不同擠型比之試片，在 250 °C 與 300 °C 及 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 下之最高強度比較圖

圖五

(6)



AZ91 鎂合金經 100:1 之擠型材試片，在 200、250、與 300 °C 時
應力與應變速率之趨勢圖，其斜率為應變速率敏感 m 值

圖六

申請日期	90.06.18
案 號	90112725
類 別	C22C 23/60

A4
C4

536558

(以上各欄由本局填註)

發明專利說明書

一、發明 名稱	中 文	製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易高擠型比擠型法
	英 文	Fabrication of Low Temperature Superplastic AZ91 Mg Alloys Using Simple High-Extrusion Ratio Extrusion Method
二、發明 創作人	姓 名	1. 林鉉凱 2. 黃志青
	國 籍	1. 2. 中華民國
	住、居所	1. 高雄市小港區桂華街 438 號 2. 高雄市鼓山區瑞豐街 161 巷 5 號
三、申請人	姓 名 (名稱)	黃志青
	國 籍	中華民國
	住、居所 (事務所)	高雄市鼓山區瑞豐街 161 巷 5 號
	代 表 人 姓 名	黃志青

裝

訂

線

FREE

四、中文發明摘要(發明之名稱:)

製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易高擠型比擠型法

本發明採用最常用也是廉價之商用 AZ91 鑄錠，並使用工業界最簡易可行之單道或雙道擠型，開發出優異之低溫超塑性。單道擠型採用高擠型比之擠製法，擠型比增加至 100:1 以上，最好至 150:1 以上，擠型溫度為 250-350 °C 之間。另設計雙道擠型之方法，第一道擠型比可為 20:1 至 50:1 之間，溫度為 250-350 °C 之間，第二道擠型比可為 3:1 至 8:1 之間，溫度為 200-300 °C 之間，需低於第一道擠型之溫度約 50 °C \pm 30 °C。高擠型比之擠製法後，晶粒可細化到約 1 μ m，在 300 °C 與 1×10^{-3} s $^{-1}$ 上下時，得到最佳的伸長量 1200%。

英文發明摘要(發明之名稱:)

Fabrication of Low Temperature Superplastic AZ91 Mg Alloys Using Simple High Extrusion-Ratio Extrusion Method

The present patent is to choose the most popular and low-priced commercial AZ91D ingot, and to apply the most simple and feasible one- or two-step extrusion method, resulting in superior low temperature superplasticity. The one-step extrusion is undertaken using a high extrusion ratio above 100:1 (better above 150:1) at 250-350 °C. And the two-step extrusion is conducted with an extrusion ratio of 20:1 to 50:1 for the first step at 250-350 °C, followed by a second-step extrusion with an extrusion ratio of 3:1 to 8:1 at 200-300 °C (~50 °C below the first step). The grain size after high extrusion ratio extrusion is ~1 μ m, resulting in high low temperature superplastic elongation of ~1200% at 300 °C and 1×10^{-3} s $^{-1}$.

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁各欄)

裝

訂

線

五、發明說明 (I)

1. 前言

儘管鎂元素在地球的蘊藏豐富，但由於提煉純鎂成本高，再加上其耐蝕性較為遜色，鎂合金以往在金屬材料中一直受到忽略，不過近年來由於可攜式產品大行其道，鎂合金的前景已為各界所看好。鎂合金有以下的特性：

- (1) 重量輕：鎂合金的比重是其他常用結構合金中最輕者。
- (2) 散熱佳：傳導率較塑膠好。
- (3) 耐衝撞：耐撞強度及吸振性較塑膠佳，尤其是相同抗力下厚度僅塑膠的 1/3。
- (4) 厚度薄：最薄可到 0.5 mm 是塑膠 1 mm 的 1/2。
- (5) 低成本的加工及壓鑄。
- (6) 防電磁波干擾。
- (7) 符合環保：可回收再利用。

在上述的特性中使鎂合金極有機會逐漸取代鋼鐵或鋁合金與工程塑膠成為汽車或電子產品外殼的主要材料。儘管鎂合金有以上眾多的優點，不過因為鎂合金結構為六方最密堆積 (hexagonal close-packed, HCP)，故在室溫時，延展性較差，適當的成形方法有助於製造出複雜且堅固的成品。

鎂合金成形方法有許多種，如冷、熱室壓鑄 (die casting)、觸變成形法 (thixomolding) 及流變成形 (rheomolding)。其中大多數的業者均選擇採用壓鑄製程，這是因為壓鑄是屬於十分成熟的製程。而利用超塑性成形鎂合金材料，如日本 SONY 等公司開發之“鍛壓成形 (press forging)”，即為在超塑性範圍下作熱壓成形，亦也是現代工業界頗受注意的成形方法之一。未來對於複雜形狀的整體結構，超塑成形有可能取代傳統設計，可節省成本及降低生產時間。

五、發明說明 (2)

2. 鎂合金超塑性之研究

有關鎂合金之超塑性研究，如添加不同種類與含量的元素，不同加工過程與熱機處理 (thermomechanical treatments, TMT) 過程，均會得到許多變化。我們可以從一些報告和文獻的結果，了解晶粒大小，不同合金元素，與含量及不同加工條件對材料的潛變強度、應變速率敏感值、伸長量、裂孔 (cavitation) 現象、變形機構及微結構所造成的影響。

對任何超塑性材料而言，晶粒大小與晶界性質對於伸長量、應變速率及潛變強度都有明顯的變化。在固定應變速率下，當晶粒較小時，其伸長量比大晶粒大很多。小晶粒可在較高的應變速率或較低溫度下得到和大晶粒一樣的伸長量。因此各種足以研發出細小晶粒之製程，均曾被使用來探討其在開發細晶粒超塑性鎂合金之可行性。表一列出主要相關之鎂基材料超塑性研究報導 [1-9]。

2.1 快速凝固法 (Rapid solidification, RS)

Solberg 等人 [1] 曾以 AZ91 鎂合金為例，利用快速凝固法，得到寬度 12 mm 而厚度僅 100 μm 之薄片帶，再截斷疊成厚塊，之後再經過 40:1 擠型，其晶粒大約為 1.2 μm ， $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 之 β 相約為 0.2 μm ，而一般壓鑄材再經同樣擠型的晶粒大約為 3~20 μm ，故快速凝固所得的晶粒較一般壓鑄的晶粒小。而且微結構在溫度上升時也很穩定，如晶粒在 300 $^{\circ}\text{C}$ 時保持 12 小時其晶粒大小並沒有很大的改變，晶粒維持在 1.9 μm 左右。在 $3.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 與 300 $^{\circ}\text{C}$ 下為例，一般壓鑄及快速凝固法所得的伸長量分別為 170% 及 1000%。快速凝固法其獲得超塑性行為遠較一般傳統的壓鑄好很多，其最主要的原因是因為成形時，快速凝固材本身晶粒即小，再經擠形後，晶粒便更小更均勻，且所造成的空洞也較少，在高溫下拉伸不容易因空洞而斷裂。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

五、發明說明 (3)

不過這種厚度僅 100 μm 之快速凝固薄片帶，再經繁複累疊後施予擠型，材料成本是極高的，適合研究用，卻不能大量工業化應用。

2.2 粉末法 (Powder metallurgy, PM)

Mabuchi 等人 [2] 以 AZ91、ZK60、ZK61 鎂合金為例，比較粉末冶金法與鑄錠冶金製造之材料在特性上有何差異。我們先從晶粒大小說明，粉末冶金法與鑄錠冶金經過 300 $^{\circ}\text{C}$ 時 100:1 的擠製後，將試片做退火處理，退火溫度為 300 $^{\circ}\text{C}$ ，而退火時間為 30 分鐘，觀察四種材料（即粉末冶金法之 AZ91 與 ZK61、以及鑄錠冶金法之 AZ91 與 ZK60）之晶粒大小分別為 1.4 μm 、1.4 μm 、5.0 μm 、2.4 μm 。我們發現由粉末冶金法所製造的材料，其晶粒都小於鑄錠冶金法所製造，而以粉末冶金法所製造的 AZ91 材料在高應變速率下有較良好的超塑性性質，其低溫超塑拉伸量為 280%，這是因為晶粒越小時所對應的超塑性應變速率越快。同樣地，粉末材料成本亦大幅高於鑄造材，大規模使用仍受限制。

另 Kaneko 等人 [6] 將粉末冶金與快速凝固法製造之 AZ105、AZ88、ZA124 和 ZA128 材料，再經 100:1 擠型後，於 200 $^{\circ}\text{C}$ 及 300 $^{\circ}\text{C}$ 作拉伸測試，應變速率為 $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，我們發現這幾種材料在 300 $^{\circ}\text{C}$ ， $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，都存在最大的伸長量，這四種材料 AZ105、AZ88、ZA124 和 ZA128 之伸長量分別為 900%、800%、500%、500%。我們也可以發現這四種合金在 300 $^{\circ}\text{C}$ 時其伸長量會隨著 Al 含量增加而變大。在測試範圍 m 值也會隨著應變速率增加而變大，從 0.24 變為 0.65。

對 AZ105 及 AZ88 這兩材料，其低溫超塑拉伸量表現不錯，但此材含 5% 與 8% 之 Zn，室溫機性極差，亦屬研究用材料，且以昂貴之粉末冶金與快速凝固法製造，遠非工業界可接受之廉價商用合金。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

FREE

五、發明說明 (3)

不過這種厚度僅 100 μm 之快速凝固薄片帶，再經繁複累疊後施予擠型，材料成本是極高的，適合研究用，卻不能大量工業化應用。

2.2 粉末法 (Powder metallurgy, PM)

Mabuchi 等人 [2] 以 AZ91、ZK60、ZK61 鎂合金為例，比較粉末冶金法與鑄錠冶金製造之材料在特性上有何差異。我們先從晶粒大小說明，粉末冶金法與鑄錠冶金經過 300 $^{\circ}\text{C}$ 時 100:1 的擠製後，將試片做退火處理，退火溫度為 300 $^{\circ}\text{C}$ ，而退火時間為 30 分鐘，觀察四種材料（即粉末冶金法之 AZ91 與 ZK61、以及鑄錠冶金法之 AZ91 與 ZK60）之晶粒大小分別為 1.4 μm 、1.4 μm 、5.0 μm 、2.4 μm 。我們發現由粉末冶金法所製造的材料，其晶粒都小於鑄錠冶金法所製造，而以粉末冶金法所製造的 AZ91 材料在高應變速率下有較良好的超塑性性質，其低溫超塑拉伸量為 280%，這是因為晶粒越小時所對應的超塑性應變速率越快。同樣地，粉末材料成本亦大幅高於鑄造材，大規模使用仍受限制。

另 Kaneko 等人 [6] 將粉末冶金與快速凝固法製造之 AZ105、AZ88、ZA124 和 ZA128 材料，再經 100:1 擠型後，於 200 $^{\circ}\text{C}$ 及 300 $^{\circ}\text{C}$ 作拉伸測試，應變速率為 $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，我們發現這幾種材料在 300 $^{\circ}\text{C}$ ， $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ ，都存在最大的伸長量，這四種材料 AZ105、AZ88、ZA124 和 ZA128 之伸長量分別為 900%、800%、500%、500%。我們也可以發現這四種合金在 300 $^{\circ}\text{C}$ 時其伸長量會隨著 Al 含量增加而變大。在測試範圍 m 值也會隨著應變速率增加而變大，從 0.24 變為 0.65。

對 AZ105 及 AZ88 這兩材料，其低溫超塑拉伸量表現不錯，但此材含 5% 與 8% 之 Zn，室溫機性極差，亦屬研究用材料，且以昂貴之粉末冶金與快速凝固法製造，遠非工業界可接受之廉價商用合金。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

FREE

五、發明說明 (4)

2.3 壓延法 (Rolling-typed thermomechanical treatment, R-TMT)

Liu 等人 [10] 則以商業鍛造用 AZ31 鎂合金為例，經簡單的熱壓延法。而超塑性成形溫度為 300 °C~500 °C，我們可觀察到當成形溫度為 400 °C 以下時，AZ31 鎂合金之晶粒大小從 250 μm 變為 50 μm ，但溫度大於 400 °C 時，成形後晶粒大小大約為 100 μm 左右。這說明晶粒在低溫時細化，但在高溫時卻晶粒成長。超塑性成形過程在動態再結晶 (dynamic recrystallization) 及晶粒成長之間。將 AZ31 鎂合金作拉伸試驗，其工作溫度範圍為 200 °C~500 °C，應變速率為 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，Liu 等人 [10] 得到最大之伸長量為 170%，工作條件為 500 °C 與 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。TEM 觀察顯示差排滑變 (dislocation creep) 扮演晶粒細化一重要角色，而大部分之晶界為高角度晶界 (high-angle grain boundaries)，且在成形後差排密度變小，這是因為晶界會吸收差排所致。AZ31 也是目前工業界有興趣之商用鎂合金，與 AZ91 有競爭之趨勢，但 AZ31 屬鍛造用固溶強化之合金，而 AZ91 屬最廉價之鑄造用析出強化合金，以價格來看，前者是後者之 2-3 倍，故如能開發優異低溫超塑性之 AZ91 材料，仍是更優之選擇。此外，鎂合金因屬六方晶系，在滾壓過程中甚易產生板邊及表面裂紋，影響後續機性，使工業操作困難度增加，並不是有利之製程方式。

2.4 等徑轉角壓製 (Equal channel angular pressing, ECAP)

Mabuchi 等人 [3] 以 AZ91 鎂合金為例，將鑄錠材置於 415 °C 中做固溶處理 2 小時之後再施以低溫的等徑轉角壓製，溫度為 215 °C。所得的晶粒為 1 μm ，較一般傳統加工如擠型或壓延 [2][10] 小，經等徑轉角壓製的總應變為 8.05 [11]。

該文獻之 AZ91 經過等角壓製後作拉伸實驗分析，觀察到在應變速率為 $6.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，200 °C 時有很好的超塑性，伸長量為 661%，相對於其他方式的加工，的確有效

五、發明說明 (4)

2.3 壓延法 (Rolling-typed thermomechanical treatment, R-TMT)

Liu 等人 [10] 則以商業鍛造用 AZ31 鎂合金為例，經簡單的熱壓延法。而超塑性成形溫度為 300 °C~500 °C，我們可觀察到當成形溫度為 400 °C 以下時，AZ31 鎂合金之晶粒大小從 250 μm 變為 50 μm ，但溫度大於 400 °C 時，成形後晶粒大小大約為 100 μm 左右。這說明晶粒在低溫時細化，但在高溫時卻晶粒成長。超塑性成形過程在動態再結晶 (dynamic recrystallization) 及晶粒成長之間。將 AZ31 鎂合金作拉伸試驗，其工作溫度範圍為 200 °C~500 °C，應變速率為 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，Liu 等人 [10] 得到最大之伸長量為 170%，工作條件為 500 °C 與 $5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。TEM 觀察顯示差排潛變 (dislocation creep) 扮演晶粒細化一重要角色，而大部分之晶界為高角度晶界 (high-angle grain boundaries)，且在成形後差排密度變小，這是因為晶界會吸收差排所致。AZ31 也是目前工業界有興趣之商用鎂合金，與 AZ91 有競爭之趨勢，但 AZ31 屬鍛造用固溶強化之合金，而 AZ91 屬最廉價之鑄造用析出強化合金，以價格來看，前者是後者之 2-3 倍，故如能開發優異低溫超塑性之 AZ91 材料，仍是更優之選擇。此外，鎂合金因屬六方晶系，在滾壓過程中甚易產生板邊及表面裂紋，影響後續機性，使工業操作困難度增加，並不是有利之製程方式。

2.4 等徑轉角壓製 (Equal channel angular pressing, ECAP)

Mabuchi 等人 [3] 以 AZ91 鎂合金為例，將鑄錠材置於 415 °C 中做固溶處理 2 小時之後再施以低溫的等徑轉角壓製，溫度為 215 °C。所得的晶粒為 1 μm ，較一般傳統加工如擠型或壓延 [2][10] 小，經等徑轉角壓製的總應變為 8.05 [11]。

該文獻之 AZ91 經過等角壓製後作拉伸實驗分析，觀察到在應變速率為 $6.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，200 °C 時有很好的超塑性，伸長量為 661%，相對於其他方式的加工，的確有效

五、發明說明 (5)

地降低超塑性的溫度。不過 ECAP 壓製之試片，尺寸很小，約為 10-30 mm 之直徑，

目前很難作工業大量應用。

Mabuchi 等人[12]利用高解析電子顯微鏡 (high-resolution electron microscopy, HREM) 觀察到經過等角擠製後的材料呈現不平衡狀態 (non-equilibrium state)，這現象便是晶界的刻面上有規則或不規則排列的起伏 (wavy)，且隨著愈接近晶界其晶格平面歪曲 (distortion) 愈大。我們可將試片放置在 225 °C 環境下 12 小時做退火 (annealing)，使非平衡晶界轉變為平衡晶界。而晶粒大小由 0.7 μm 變為 3.1 μm 。而有平衡晶界之材料會呈現較長的超塑性伸長量。這是因為平衡晶界較易進行晶界滑移。

2.5 擠型法 (Extrusion)

Lee 等人 [13] 以 AZ91/SiC_p 複合材料為例，不同的擠型比 (extrusion ratio)、擠型溫度和 SiC_p 顆粒大小都會影響機械性質好壞。文中提到擠型溫度越高或擠型比越小對於擠型的壓力也相對的越小，不過所得到的試片拉伸強度也相對地減小，而且強化相顆粒大小和含量也影響到超塑性的好壞，這現象不只在複合材料成立，Mabuchi 等人 [5] 也以 AZ91 鎂合金為例，材料經過三種不同溫度 480 °C、400 °C、300 °C 作熱擠型。擠型後的晶粒大小分別為 66.1 μm 、15.4 μm 和 7.6 μm 。m 值也隨著溫度的下降而升高，從 0.2 變為 0.5，伸長率也從 30% 上升為 310%。由結果可觀察到在 300 °C 時作擠型，AZ91 鎂合金所表現的超塑性行為最佳。

2.6 往復式擠型 (Reciprocal extrusion)

由清華大學葉均蔚實驗室所開發之往復式擠型 [14]，可以有效地逐步細化晶粒，經過多道 (約六至八次) 往復式擠型，試片可於 200 °C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 時，有很好

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (6)

的超塑性，伸長量約為1000%。

此法與上面等徑轉角壓製法有基本之類似構想，均可以藉累積變形量而有效地一道一道地逐步細化晶粒，目前正在嘗試運用中。只是工業應用必須先建構特殊設計之往復式擠型機，對不熟悉者產生困難；而六至八次之多道擠型，也有考量，而往復式擠型後之成品多是棒材或圓筒形材料，如需板材，可能還需再進行一般擠型或滾壓，雖已是很有效之製程，但如能以更簡易之製程方式，達到同等效果，則更為理想。

3. AZ91 超塑性開發之訴求

本發明之訴求有三：

- (1) 採用目前最常用也是廉價之商用鎂合金，即 AZ91 鑄錠，其價格約為其他鎂合金之一半或三分之一。
- (2) 採用工業界最簡易可行之製程，即單道或雙道擠型（滾壓延一般也是工業最接受之法，但 AZ91 鎂合金極難壓延，工業實作可行性極低）。
- (3) 針對工業界講求效率及成本，故提高超塑性發生之應變速率和降低超塑性發生之溫度均在考量之內。

4. 使用材料

本發明所使用之材料為 AZ91D（成份約為 Mg-9Al-1Zn）鑄錠材，材料來源購自大陸南京雲海公司（Welbow Metals Corporation），成本甚低，低於挪威 Hydro-Norsk 廠或以色列 Dead Sea 廠之 AZ91 鑄錠，精確成分如表二所示。

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (7)

5. 材料加工製程

表三歸納本發明所運用之製程路徑。原始的鑄錠經過固溶處理及簡易擠型，再經過拉伸性質的測試、顯微結構觀察與分析。固溶處理乃把材料置於氣氛爐中升溫至 400-430 °C 保持 1-3 個小時，之後再做水淬使其材料成分均勻。其後之製程歸納於表三。本發明所述操作料尺寸，均為縮小試片尺寸，實際工業操作可等比例加大尺寸實施。

擠型溫度界於 200-400 °C 之間，將鑄材車製成圓柱狀壓型體（直徑為 65 mm），再將材料放置於擠型機前，運用擠型模具噴上氮化硼（BN），使得在擠型時減少材料與模具間的摩擦力。最後將材料置於擠型機之盛桶部分，然後加熱盛桶與模具部分。

簡易擠型分為兩種，第一種為單道擠型，此為工業界最簡單可行之方法，採用高擠型比（extrusion ratio, ER）之擠製法，所用之擠型機功率需夠大，以使出力足夠。擠型溫度固定於單一溫度，可於 250-350 °C 之間，最好於 300 °C±30 °C 上下。本發明所使用之高擠型比之擠製法，乃提高一般擠型之 10:1 或 20:1 之擠型比，增加至 100:1 以上，最好至 150:1 以上，亦即擠型真實應變量提高至 4.6 (=ln100) 以上，最好至 5.0 (=ln150) 以上。其中擠型比定義為： $ER=A_0/A_f$ ；面積縮減率（reduction in area, RA）定義為： $RA=(A_0-A_f)/A_0$ ；真實應變量（true strain, ϵ ）定義為： $\epsilon=\ln(A_0/A_f)$ 。其中 A_0 為初始圓柱狀壓型體之截面積，而 A_f 為擠型後之截面積。

現採用三種擠型比作為簡易單道擠型之施行範例，以比較其實施效果。三種擠型比範例分別為 42:1、100:1、與 166:1，製出之材料可為長條棒狀或板材。原鑄材圓柱壓型體直徑為 65 mm，擠型後成品如為棒材，其直徑為 10 mm 或 6.5 mm，則

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (8)

擠型比為 42:1 或 100:1，成品如為板材，其寬度為 10 mm 而厚度為 2 mm，則擠型比為 166:1。其三種不同孔徑擠型之操作條件示於表四。對工業界大件之擠型，可等比例加大尺寸，如以一般之鑄錠尺寸，截面直徑約可裁為 200 mm，截面積為 31416 mm²，擠出板材約 150 mm 寬，2 mm 厚，則擠型比為 105:1，已達低溫超塑性之製作要求；如以截面直徑 250 mm，截面積為 49087 mm²，擠出寬 150 mm 厚 2 mm 之板材，則擠型比為 164:1，其擠型板材將具絕佳之低溫塑性，可能早已超過工業商品之要求。

為顧及工業應用時，產品一般較大件，高擠型比即需高功率之擠型機，不然可能無法順利擠出，故另設計雙道擠型之方法，可分兩段之雙道擠型，一般之擠型機均可適用。

雙道擠型中之第一道擠型比可為 20:1 至 50:1 之間，視擠型機之功率大小與擠件之尺寸。此第一道擠型溫度固定於單一溫度，可於 250-350 °C 之間，最好於 300 °C±30 °C 上下。第二道擠型比可為 3:1 至 8:1 之間，使兩道擠型之總擠型比同樣達到約 100:1 以上，最好至 150:1 以上，此第二道擠型溫度也固定於單一溫度，可於 200-300 °C 之間，最好於 250 °C±30 °C 上下，需低於第一道擠型之溫度約 50 °C±30 °C。使用較低之擠型溫度，是彌補一次擠型量不足之缺憾，因第一次擠型後之材料晶粒已大幅縮小，材料進一步變形會較順暢，使用較低之擠型溫度，並不會使擠型負荷力量不足，反而會使二次擠型後之產品晶粒保持細化。

針對第二種雙道擠型，實施之範例為第一道擠型比為 42:1，即上面第一種擠型之最小擠型比範例（從原鑄錠之 65 mm 直徑擠成 10 mm 直徑），之後再實施第二道較低溫之擠型，擠型比為 4:1（從 10 mm 直徑擠成 10 mm x 2 mm），兩道擠型之總

（請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁）

裝

訂

線

五、發明說明 (9)

擠型比同樣為 166:1，可與上面一道擠型之實施範例成效相比較。其擠型操作之條件示於表四。對工業界大件之擠型，可等比例加大尺寸，如以一般之鑄錠尺寸，截面直徑約可裁為 250 mm，截面積為 49087 mm^2 ，第一道可擠出直徑為 150 mm 寬 8 mm 厚之厚板材，再第二道擠型出 150 mm 寬 2 mm 厚之板材，則累積擠型比亦為 164:1，其擠型板材同樣具絕佳之低溫塑性。

本發明所使用的擠型機為國內功益公司製造，KCAEP-350E 型銅鋁用高溫擠製機。為雙剛橫軸式油壓擠製機，最高出力 350 噸。

6. 機械拉伸性質測試

本發明所使用的拉伸試片，依美國材料試驗學會 (ASTM) 之規格車製，因為有棒材及板材，故車製試片的尺寸規格有兩種，標距長分別為 8.3 mm 及 5.5 mm，而標距長軸與材料滾壓或擠型的方向平行。另拉伸試驗機為 Instron 5582 型萬能試驗機，該試驗機配有三區加熱高溫爐。速度的控制是以固定夾頭速度法 (constant cross-head speed) 為主，分別進行室溫及中高溫之拉伸。室溫時，測試的應變速率為 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ ，主要量測材料室溫的極限拉伸強度與室溫伸長量。而中高溫的測試在 200 °C 以上，分別以 2×10^{-4} 、 8×10^{-4} 、 1×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 8×10^{-3} 與 $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 為起始應變速率。

7. 微觀組織

首先將鎂合金 AZ91 鑄錠作金相分析，鑄錠晶粒大小大約為 125 μm ，如圖一(a)，而經過不同的熱擠型後的其晶粒大小也有所差異。加工量越大時，其晶粒也越細化，如表五所示。在 100:1 單道擠型後，晶粒可細化到約 4 μm ，而 166:1 單道擠型後，晶粒可細化到約 1 μm ，如圖一(b)，。兩道擠型達 166:1 後，晶粒可同樣細化到約 1 μm 。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

五、發明說明 (10)

我們將熱擠型後試片置於加熱爐中加熱至 250 °C (升溫過程約 60 分鐘)，則晶粒呈現較完整的輪廓晶粒尺寸大約為 1-5 μm ，另外；我們將試片同樣加熱至 250 °C，然後再分別維持 0、30、60 及 90 分鐘，以觀察靜態晶粒結構的影響，隨著靜置時間的增長，晶粒結構逐漸轉換為晶粒較清楚的結構與晶界，而經過 90 分鐘的靜置後，晶粒尺寸沒有很大的改變。但如於 350 °C 以上保持 30 分鐘，則晶粒會成長到 10 μm ，顯示晶粒在 350 °C 以上有明顯的晶粒粗大化，對於超塑性會有不良的影響。

8. 從機械性測試印證本發明操作之成效

8.1 室溫之機械性質

我們將擠型前後的鎂合金車製成拉伸試片，來了解原始材料和加工後材料的機械性質，將試片在同樣的拉伸條件下進行拉伸我們將所得數據整理成表六，我們可以發現到加工後的抗拉強度 (UTS) 增加了許多，從 146 MPa 增加到 320 MPa，這是因為材料加工硬化的原因，室溫伸長量則約為 15-20% 之間，示於表六。由於 AZ91 為析出型的鎂合金，為了解材料性質，故我們將鑄錠及擠型材作 T6 處理，即於氣氛爐內恆溫 415 °C，2 小時後水淬，再作時效處理，時效條件為 168 °C，18 小時，經過 T6 時效處理後，強度均約增為 380 MPa，室溫伸長量則降為 10%。

8.2 低溫超塑性之表現

我們先將擠型後試片作室溫以上的拉伸測試，因在 350 °C 以上有明顯的晶粒粗大化，故拉伸溫度選在 200、250 及 300 °C，而應變速率為 2×10^{-4} 、 8×10^{-4} 、 1×10^{-3} 、 2×10^{-3} 、 8×10^{-3} 及 $2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。對不同擠型比之試片，於不同測試條件所對得到之低溫超塑拉伸量，分別示於圖二之(a),(b),(c)，圖二(a)乃表示在 42:1 較低擠型比之試片，擁有較大 9 μm 之晶粒者，於 200、250、300 °C 時不同應變速率下之低溫超塑拉伸量

五、發明說明 (11)

變化，圖二(b)乃表示在 100:1 中擠型比之試片，擁有中等 $4\text{ }\mu\text{m}$ 之晶粒者，於同樣拉伸溫度速率之低溫超塑拉伸量變化，而圖二(c)則為 166:1 最高擠型比之試片，包括一次擠型即達 166:1，以及兩次擠型累積擠型比而達 166:1 之兩種實施範例，兩者均擁有最細 $1\text{ }\mu\text{m}$ 之晶粒，於同樣拉伸溫度速率之低溫超塑拉伸量表現。圖三比較經一道擠型或兩道擠型但不同擠型比之低溫超塑拉伸量比較，圖三(a)為在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 時之比較，圖三(b)為在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 時之比較。

由圖二可知，一道擠型時如擠型比低於 100:1，低溫超塑拉伸量表現差。擠型比提升至 100:1 之擠型棒材，在 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 的應變速率下，已可得到不錯的伸長量 300%，此為典型的低溫超塑性，已有足夠之變形量供絕大部分之工業成形所用。而 166:1 之擠型板材在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 上下之應變速率下，得到最佳的伸長量 1200%，如圖四所示。此記錄可列為所有鎂合金所得之最高伸長量中，僅有 Norsk-Hydro 公司以快速凝固法製出之厚度僅 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之薄片帶，再經繁複累疊後施予擠型 [1]，或極為昂貴之 Mg-4Y-3RE-0.5Zr (WE43) 特殊高溫用鎂鈮稀土合金 [15] 於更高溫 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，才有超過 1000% 之低溫超塑伸長量，但本發明乃使用最廉價之鎂合金，且使用最簡易之一道擠型法，即可獲得極佳之低溫超塑性，有進步性與實用性。從測試後的試片外觀來看，呈現相當均勻之變形。

166:1 之試片，無論是一道擠型或兩道擠型，表現相差不遠，一道擠型一般呈現稍微高之伸長量，兩者在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與 $1\times 10^{-2}\text{ s}^{-1}$ 以上之高速時，仍有 ~300% 之拉伸量，已算是低溫且高速之超塑型材料。

圖五表示不同擠型比之試片在 $1\times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 時不同溫度下之強度，隨擠型比提高，即加工量越大時，其所對應的抗拉強度越小，像 AZ91 經 166:1 之擠型後，在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 與

//

五、發明說明 (12)

$1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 時，最高應力已大幅降到 15 MPa。這是因為加工量大時所產生的晶粒較小，故在低溫超塑拉伸時，晶粒滑移較容易進行，所需之應力降低，故所呈現之抗拉強度較低。值得注意的是，較低之抗拉強度可使後續之成形施力隨之降低，如以 press forging 或 press forming 操作 AZ91 鎂合金之機殼成形時，較低之成形施力是工業運用之直接且重大有利因素，對機器負載及模具損耗，均是相當正面的。

圖六為 100:1 之擠型材試片之應變速率敏感 m 值，乃為在 200、250、與 300 °C 之溫度區間，與 $2 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ 之應變速率之間所得，在 250 與 300 °C 時， m 值高於 0.3。表七為各種擠型材試片之 m 值，最佳之 166:1 試片於 300 °C 時， m 值達約 0.5，對低溫超塑性之材料， m 值一般只有約 0.3-0.35，0.5 之 m 值屬相當難得之表現，顯示 AZ91 鎂合金材料，經本發明之簡易高擠型比擠型，內部晶粒細小均勻，適合晶粒滑移，材料變形均勻，造成極佳之低溫超塑性拉伸量，且也適合後續之各種工業成形，可保證其成形乃具極佳之均勻度，不易產生過薄區或局部裂口等。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂

線

五、發明說明 (13)

表格簡單說明

- 表一 為文獻上報導之一般商用 AZ 與 ZK 系列 鎂合金之超塑性整理
- 表二 為 AZ91D 鎂合金之重量百分比 (wt%) 與原子百分比 (at%) 成份
- 表三 為本發明實施製程之簡易流程表
- 表四 為各種擠型範例實施所用之擠型比與真實擠型應變值
- 表五 為各種 AZ91 鎂合金擠型材試片之晶粒大小
- 表六 為各種 AZ91 鎂合金擠型材試片於室溫與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 時之拉伸機械性質
- 表七 為各種 AZ91 鎂合金擠型材試片之應變速率敏感 m 值

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

訂

線

FREE

五、發明說明 (14)

表一
文獻上報導之一般商用 AZ 與 ZK 系列 鎂合金之超塑性整理

合金	處理方法	晶粒尺寸 (μm)	測試溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	測試速率 (s^{-1})	伸長量	參考 文獻
AZ91	Conventional cast+extrusion	---	250	3.3×10^{-3}	110%	[1]
			275	3.3×10^{-3}	180%	
			300	3.3×10^{-3}	170%	
AZ91	RS+extrusion	----	250	1.8×10^{-3}	>500%	[1]
			275	3.3×10^{-3}	>1000%	
			300	3.3×10^{-3}	>1000%	
AZ91	PM+extrusion	1.4	300	1×10^{-2}	280%	[2]
AZ91	IM+extrusion	4.1	250	4×10^{-4}	430%	[2]
AZ91	ECAE	1	175	1×10^{-3}	100%	[3]
			175	2×10^{-4}	180%	[4]
			175	6×10^{-5}	326%	
			200	1×10^{-4}	400%	
			200	6×10^{-5}	661%	
AZ91	ECAE	1.4	300	1×10^{-2}	280%	[3]
AZ91	ECAE	4.1	250	3×10^{-4}	430%	[3]
AZ91	Extrusion (300 $^{\circ}\text{C}$)	7.6	300	1×10^{-5}	310%	[5]
AZ91	Extrusion (400 $^{\circ}\text{C}$)	15.4	300	1×10^{-5}	150%	[5]
AZ91	Extrusion (480 $^{\circ}\text{C}$)	66.1	300	1×10^{-5}	<30%	[5]
AZ105	PM+extrusion	-----	200	2×10^{-3}	53%	[6]
			300	2×10^{-3}	400%	
			300	2×10^{-2}	900%	
AZ105	IM+extrusion	----	200	2×10^{-3}	75%	[6]
			300	2×10^{-3}	120%	
AZ88	PM+extrusion	-----	200	2×10^{-3}	68%	[6]
			300	2×10^{-3}	260%	
			300	2×10^{-2}	800%	
AZ88	IM+extrusion	----	200	2×10^{-3}	90%	[6]
			300	2×10^{-3}	105%	
ZA124	PM+extrusion		200	2×10^{-3}	80%	[6]
			300	2×10^{-3}	350%	
			300	2×10^{-2}	500%	
ZA124	IM+extrusion		200	2×10^{-3}	70%	[6]
			300	2×10^{-3}	73%	
ZA128	PM+extrusion		200	2×10^{-3}	55%	[6]
			300	2×10^{-3}	300%	
			300	2×10^{-2}	500%	
ZA128	IM+extrusion		200	2×10^{-3}	60%	[6]
			300	2×10^{-3}	120%	

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

訂

五、發明說明 (15)

(Continue)

ZK60	IM+extrusion	3.3	325	1×10^{-2}	544%	[7]
			337	1×10^{-2}	305%	
			350	1×10^{-3}	420%	
			400	1×10^{-3}	340%	
	PM+extrusion +annealing	6.5	200	3×10^{-6}	430%	[7]
			212	8×10^{-6}	430%	
			225	1×10^{-5}	400%	
ZK60		3.2	300	4×10^{-3}	730%	[2]
ZK61		1.8	350	1×10^{-1}	450%	[2]
ZK60	Extruded	3.3	325	1×10^{-1}	130%	[7]
			325	1×10^{-2}	544%	
			325	1×10^{-3}	370%	[8]
			350	1×10^{-1}	150%	
			350	1×10^{-2}	320%	
			350	1×10^{-3}	420%	
			400	1×10^{-1}	60%	
			400	1×10^{-2}	100%	
			400	1×10^{-3}	230%	
ZK60	Extrusion+ annealing	6.5	200	1×10^{-5}	240%	[8]
			212	1×10^{-5}	320%	
			225	1×10^{-5}	430%	
ZK61	PM+extrusion	0.5	200	1×10^{-1}	100%	[9]
			200	1×10^{-2}	283%	
			200	1×10^{-3}	659%	
			200	1×10^{-4}	410%	

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

訂

15
FREE

五、發明說明 (16)

表二

AZ91D 鎂合金之重量百分比 (wt%) 與原子百分比 (at%) 成份

	Mg	Al	Zn	Mn	Si	Fe	Cu	Ni	Be
wt%	Bal.	9.07	0.62	0.33	0.0172	0.0026	0.0006	0.0004	0.0002
at%	Bal.	9.94	1.64	0.74	0.0195	0.0059	0.0016	0.0010	0.0001

表三

本發明實施製程之簡易流程表

-
- 一、鑄錠固溶處理 ($415^{\circ}\text{C} \pm 15^{\circ}\text{C}$, 1-3 小時)
- 二、單道擠型 ($300^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$): (1) 42:1; (2) 100:1; (3) 166:1
- 三、雙道擠型: 第一道擠型 ($300^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$): 42:1
- 第二道擠型 ($250^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$): 4:1
-

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

裝

訂

五、發明說明 (17)

表四

各種擠型範例實施所用之擠型比與真實擠型應變值

擠型條件	擠型比 ER	面積縮減率 RA	真實擠型應變值 ϵ
一道擠型	42:1	97.6%	3.74
一道擠型	100:1	99.0%	4.61
一道擠型	166:1	99.4%	5.11
兩道擠型中之第一道	42:1	97.6%	3.74
兩道擠型中之第二道	4:1	75.0%	1.39
兩道擠型之累積	166:1	99.4%	5.11

表五

各種 AZ91 鎂合金擠型材試片之晶粒大小

材料狀況	晶粒大小, μm
鑄錠	125
一道擠型 42:1	9
一道擠型 100:1	4
一道擠型 166:1	1
二道擠型 166:1	1

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

裝

訂

五、發明說明 (18)

表六

各種 AZ91 鎂合金擠型材試片於室溫與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 時之拉伸機械性質

材料狀況	UTS, MPa	Elongation
鑄錠	146	4%
一道擠型 42:1	318	16%
一道擠型 100:1	340	16%
一道擠型 166:1	340	20%
二道擠型 166:1	350	20%

表七

各種 AZ91 鎂合金擠型材試片之應變速率敏感 m 值

擠型條件	200 °C	250 °C	300 °C
一道擠型			
42:1	~0.18	~0.25	~0.28
100:1	~0.20	~0.30	~0.33
166:1	~0.29	~0.50	~0.51
兩道擠型			
166:1	~0.30	~0.48	~0.49

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

裝

訂

五、發明說明 (19)

參考文獻

1. J. K. Solberg, J. Torklep, O. Bauger and H. Gjestland, Mater. Sci. Eng., A134 (1991) 1201.
2. M. Mabuchi, T. Asahina, H. Iwasaki and K. Higashi, Mater. Sci. Tech., 13 (1997) 825.
3. M. Mabuchi, H. Iwasaki, K. Yanase and K. Higashi, Scripta Mater., 36 (1997) 681.
4. M. Mabuchi, M. Nakamura, K. Ameyama, H. Iwasaki and K. Higashi, Mater. Sci. Forum, 304-306 (1999) 67.
5. M. Mabuchi, K. Kubota and K. Higashi, Mater. Trans., JIM, 36 (1995) 1249.
6. J. Kaneko, M. Sugamata and N. Hisata, Mater. Sci. Forum, 304-306 (1999) 85.
7. H. Watanabe, T. Mukai and K. Higashi, Scripta Mater., 40 (1999) 477.
8. H. Watanabe, T. Mukai and K. Higashi, Mater. Sci. Forum, 304-306 (1999) 303.
9. H. Watanabe, T. Mukai, M. Mabuchi and K. Higashi, Scripta Mater., 41 (1999) 209.
10. Y. Liu, X. Wu, Z. Li and Y. Xu, in Proceedings of International Symposium on Materials Science and Technology, 1 (2000) 127.
11. V. M. Segal, Mater. Sci. Eng., A197, (1995) 157.
12. M. Mabuchi, K. Ametama, Iwasaki and K. Higashi, Acta mater., 47 (1999) 2047.
13. D. M. Lee, B. K. Suh, B. G. Kim, J. S. Lee and C. H. Lee, Mater. Sci. Tech., 13 (1997) 590.
14. R. G. Chang (under the guidance of J. W. Yeh), Master Thesis, Tsing Hua University, 2000.
15. M. Mabuchi and M. Nakamura, "Magnesium Alloys and Their Applications", ed. B. L. Mordike and K. U. Kainer, Werkstoff-Informationshesellschaft mbH, Frankfurt, Germany, 1998, p. 91.

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

六、申請專利範圍

1. 一種以製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易單道高擠型比擠型法，其步驟如下：
 - (1) 鑄錠先經過固溶處理，乃把鑄錠置於氣氛爐中升溫至 $400-430^{\circ}\text{C}$ 保持 1-3 個小時，之後再做水淬使其材料成分均勻，
 - (2) 單道擠型法之擠型溫度固定於單一溫度，於 $250-350^{\circ}\text{C}$ 之間，單道擠型法採高擠型比，增加至 40:1 至 160:1 之間的程度，亦即擠型真實應變量提高至 3.7-5.1 (即 $\ln 40 - \ln 160$) 之間。
2. 一種以製作低溫超塑性 AZ91 鎂合金之簡易雙道高擠型比擠型法，其步驟如下：
 - (1) 鑄錠先經過固溶處理，乃把鑄錠置於氣氛爐中升溫至 $400-430^{\circ}\text{C}$ 保持 1-3 個小時，之後再做水淬使其材料成分均勻，
 - (2) 雙道擠型法之擠型溫度有二，第一道擠型溫度固定於單一溫度，於 $250-350^{\circ}\text{C}$ 之間；第二道擠型溫度也固定於單一溫度，於 $200-300^{\circ}\text{C}$ 之間，需低於第一道擠型之溫度 $50^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ ；第一道擠型比為 20:1 至 50:1 之間，視擠型機之功率大小與擠件之尺寸；第二道擠型比為 2:1 至 8:1 之間，使兩道擠型之累積總擠型比同樣達到 40:1 至 160:1 之間的程度，亦即累積擠型真實應變量同樣提高至 3.7-5.1 之間。

(請先閱讀背面之注意事項再填寫本頁)

裝

訂

線

圖式

圖式簡單說明

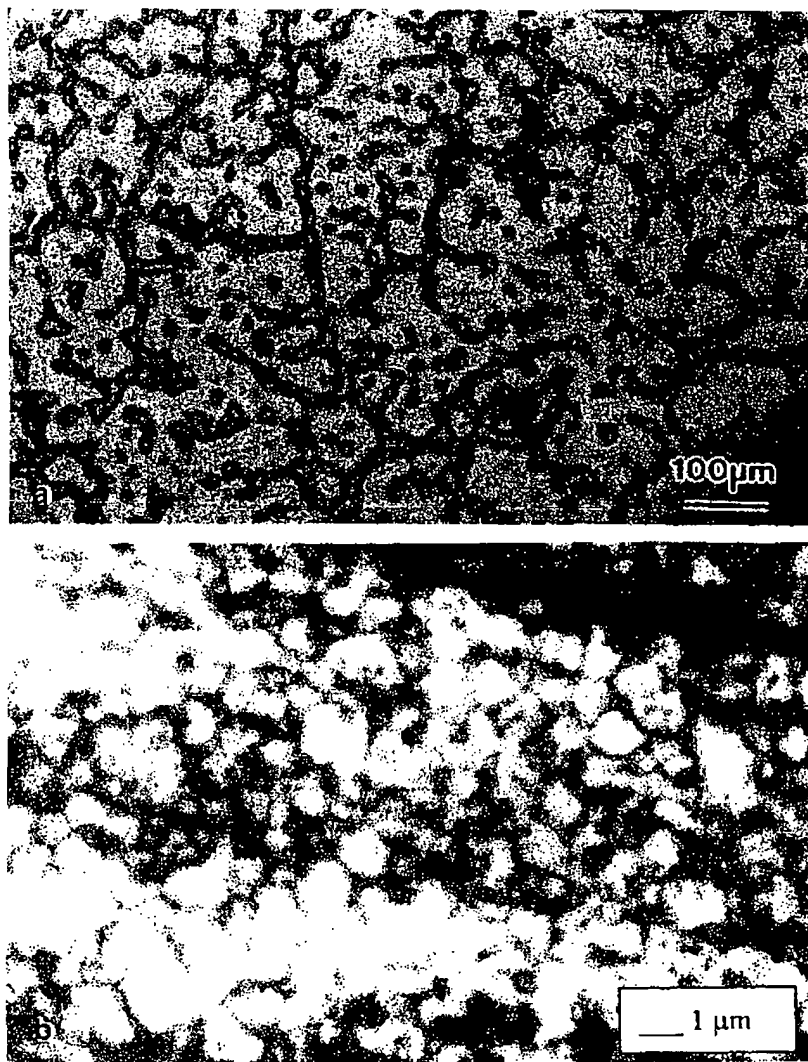
- 圖一 為 AZ91 擠型材之顯微金相照片。
- 圖二 為 AZ91 擠型材之低溫高塑拉伸量於不同拉伸溫度與拉伸速率之變化圖：(a) 擠型比 42:1；(b) 擠型比 100:1；(c) 擠型比 166:1。
- 圖三 為 AZ91 擠型材之經不同擠型比及單雙道擠型後之低溫高塑拉伸量比較圖：(a) 250 °C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時；(b) 300 °C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時之比較。
- 圖四 為 AZ91 鎂合金經 166:1 之擠型後在 300 °C 拉伸所得之典型低溫超塑試片（尚未斷裂），與未拉伸之試片比較圖
- 圖五 為 AZ91 鎂合金經不同擠型比之試片，在 250 °C 與 300 °C 及 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 下之最高強度比較圖
- 圖六 為 AZ91 鎂合金經 100:1 之擠型材試片，在 200、250、與 300 °C 時應力與應變速率之趨勢圖，其斜率為應變速率敏感 m 值

（請先閱讀背面之注意事項再行繪製）

訂

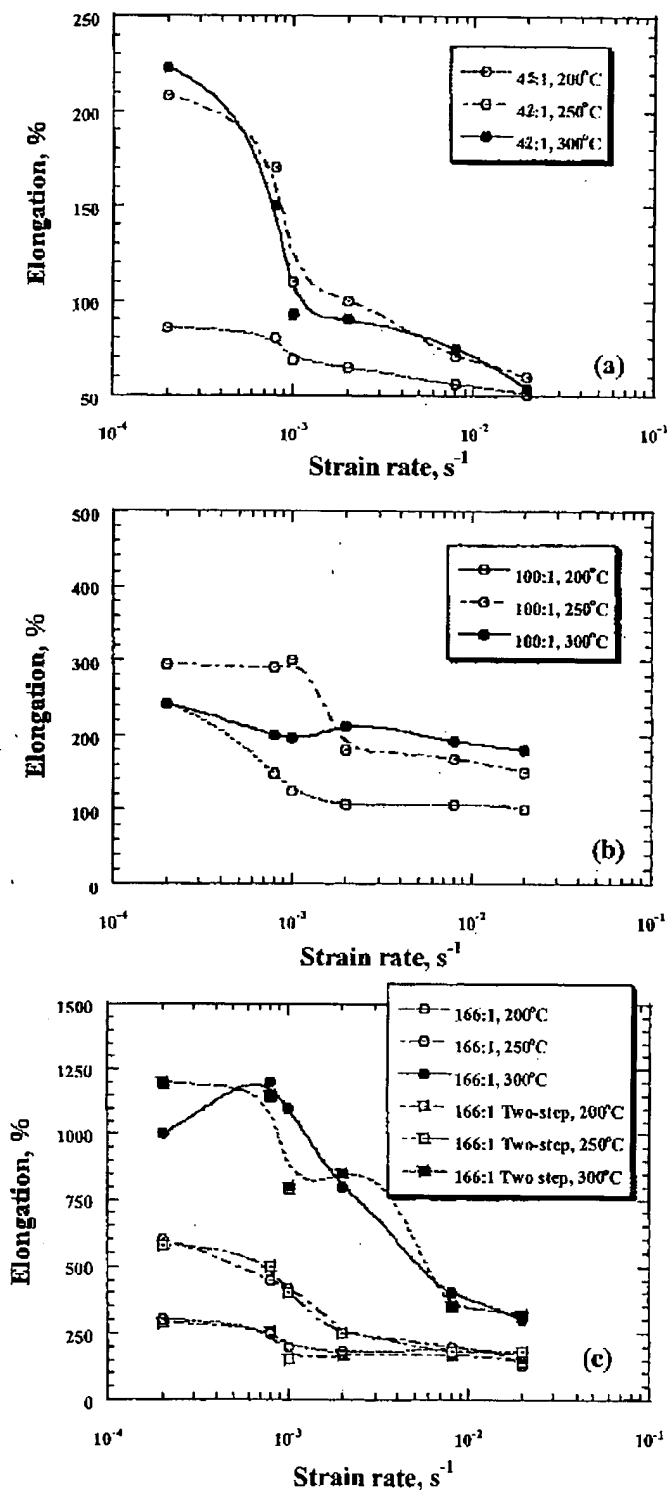
線

圖式



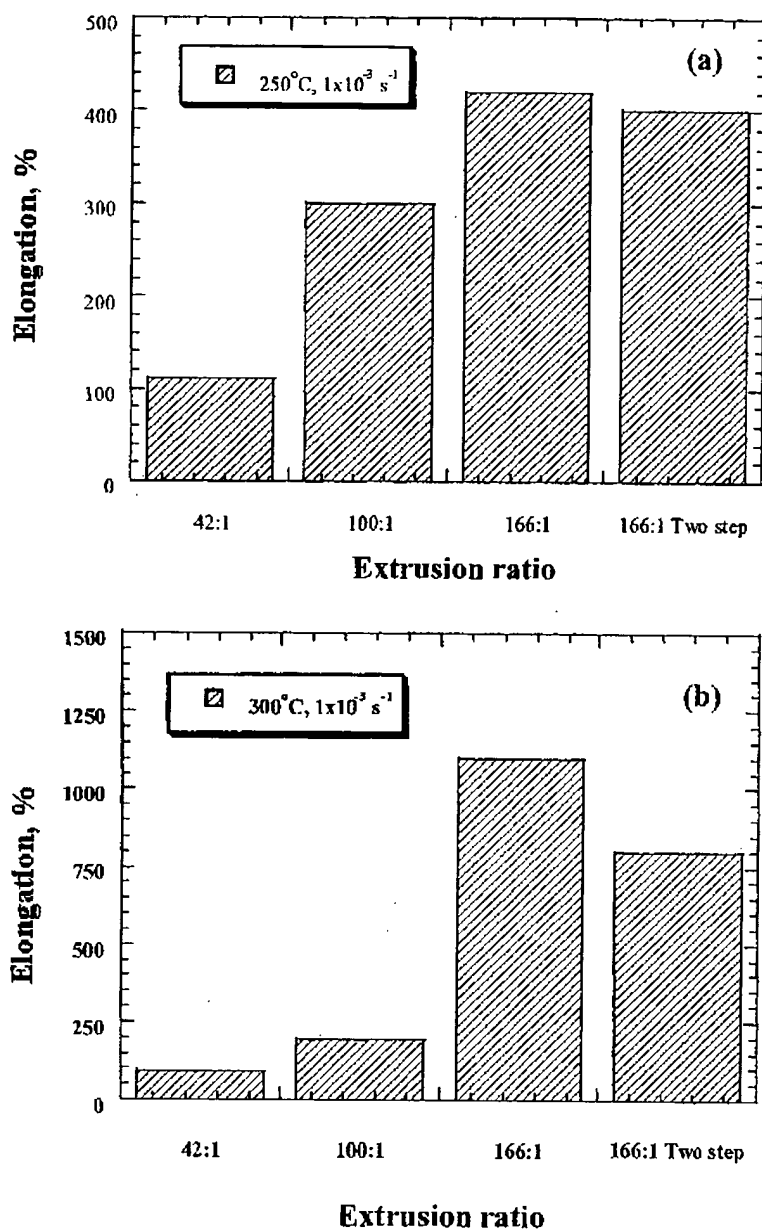
圖一 AZ91 擠型材之顯微金相照片。

圖式



圖二 AZ91 擠型材之低溫高塑拉伸量於不同拉伸溫度與拉伸速率之變化圖：(a) 擠型比 42:1；(b) 擠型比 100:1；(c) 擠型比 166:1。

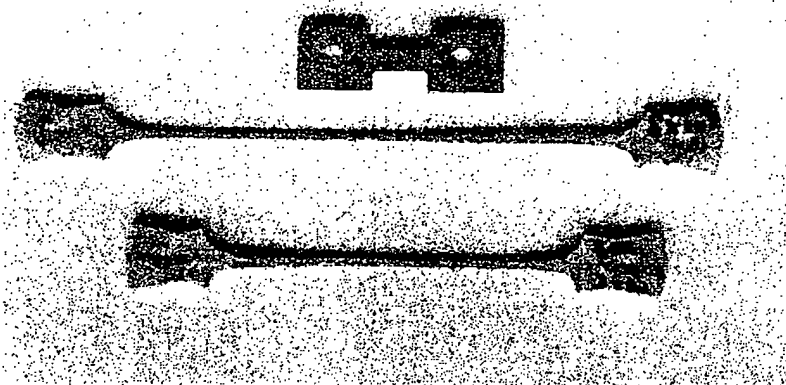
圖式



圖三 AZ91 擠型材之經不同擠型比及單雙道擠型後之低溫高塑拉伸量比較圖：(a) 250°C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時；(b) 300°C 與 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 拉伸時之比較。

A9
B9
C9
D9

圖式



圖四 AZ91 鎂合金經 166:1 之擠型後在 300 °C 拉伸所得到之典型低溫超塑試片(尚未斷裂)，與未拉伸之試片比較圖

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

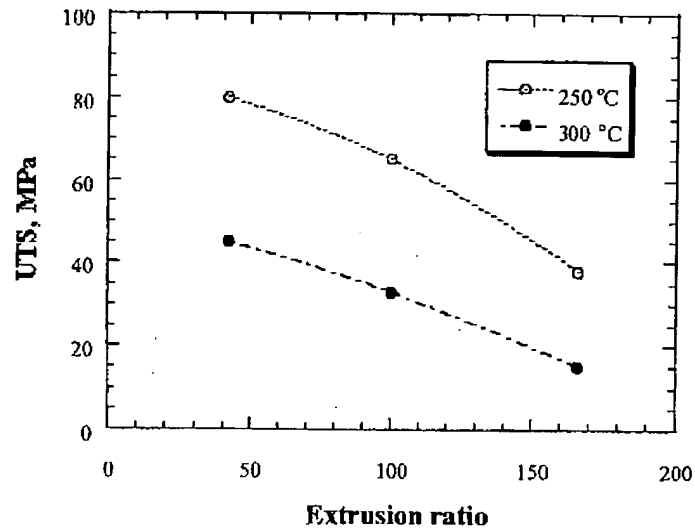
裝

訂

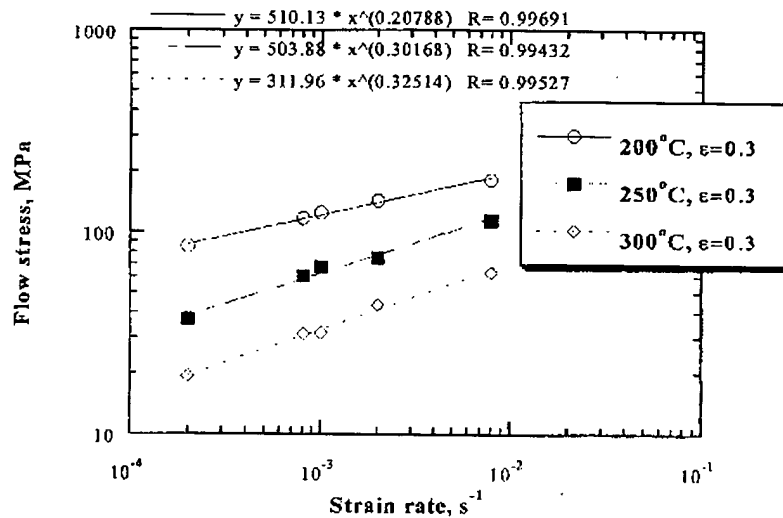
線

FREE 25

圖式



圖五 AZ91 鎂合金經不同擠型比之試片，在 250 °C 與 300 °C 及 $1 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 下之最高強度比較圖



圖六 AZ91 鎂合金經 100:1 之擠型材試片，在 200、250、與 300 °C 時應力與應變速率之趨勢圖，其斜率為應變速率敏感 m 值

(請先閱讀背面之注意事項再行繪製)

裝

訂